誘引物質在害蟲防治上之利用

陳健忠　董耀仁

自然環境中存在許多揮發性物質，其中有些化合物可以誘導及協助昆蟲尋獲棲所、食物、產卵處所、交尾對象等，以維持其生活或繁衍後代。昆蟲藉由嗅覺功能感受這些”氣味”，使同種個體間或不同物種可以互通訊息及啟動特定的行為反應。此類揮發性物質統稱為化學傳訊物質(semiochemical)，包括費洛蒙(pheromone)、凱洛蒙(kairomone)、產卵誘引物、取食忌避物以及其他眾多的化合物(Nordlund, 1981; Howse *et al*., 1998)。在田間施用化學傳訊物質，可以改變害蟲的行為，進而管制其族群發展，達到害蟲管理的目的，減少作物的損害。各種化學傳訊物質可以一起使用，以增加誘蟲效果。例如將取食促進劑、雄蟲性誘劑、雌蟲聚集費洛蒙及速效殺蟲劑加入黏板中，用於田間防治橄欖果實蠅(*Bactrocera oleae*)，結果每株橄欖樹防治所需的農藥用量降至原來的百分之一(Haniotakis *et al*., 1991)。

近年來誘引物質成分的分離、鑑定、合成及施放技術的提升，使得化學傳訊物質的應用有長足的進展，當然這也歸因於我們對標的害蟲的行為以及田間的各項調控因子有更深入的了解。

昆蟲除了以嗅覺感受器偵知化學傳訊物質外，亦用視覺辨識不同顏色(Prokopy and Owens, 1983; Oseto, 2000)。不同的昆蟲常會趨向特定偏好的顏色，因此顏色本身就是一種昆蟲誘引物質。特定顏色搭配殺蟲陷阱如黏紙、水盤等，即可組成誘蟲器用以誘殺害蟲(Sivinski, 1990)。害蟲防治研究上經常用於測試的顏色有白色、藍色、綠色、黃色等，均與寄主植物的反射光譜或波長有關聯。有關害蟲偏好的顏色已有很多的試驗結果，例如桃蚜喜好黃色、翠菊葉蟬偏好橙色、花薊馬喜歡白色或藍色、蘋果果實蠅(*Rhagoletis pomonella*)則易趨向紅色或黃色物質。在田間，昆蟲對於顏色的趨性強弱受到誘蟲器的懸掛位置、地上物組成(背景)、昆蟲的生理狀態和投射在誘蟲器上的光波長的影響(Robacker *et al*., 1990)。人為施用的氣味或顏色會吸引害蟲趨向誘引源，但是在田間自然環境中可能同時存在其他誘引物質，如可供產卵

的寄主果實，同種害蟲釋放的性費洛蒙，其他害蟲產生的蜜露等，因此誘殺害蟲的成果是兩者競爭的結果。提高誘引物質的誘殺力，降低環境中的干擾因子，是其利用於防治上成敗的重要關鍵。

化學傳訊物質與利用

就昆蟲間傳遞訊息而言，化學傳訊物質可分為種內(intraspecific)和種間(interspecific)兩大類，前者為費洛蒙，後者有凱洛蒙、阿洛蒙(allomone)、辛洛蒙(synomone)和兒諾蒙(apneumone)。例如小菜蛾性費洛蒙屬於種間的傳訊物質，而蘋果氣味誘引劑則屬於凱洛蒙。費洛蒙是指一種昆蟲個體分泌及釋出的揮發性物質，此物質會引發同種個體產生特定的行為反應，目前已知者有性費洛蒙、聚集費洛蒙、產卵費洛蒙、警戒費洛蒙、路徑費洛蒙等(Hartlieb and Anderson, 1999)。性費洛蒙可以吸引遠距外的異性前來，並在近距離內誘發求偶行為。聚集費洛蒙可聚集大量同種昆蟲，有利於交尾或合力攻擊寄主植物獲取食物，增加族群繁衍的機會。產卵費洛蒙幫助昆蟲尋找合適的產卵處所，使子代幼蟲得到最佳的發育或存活空間。產卵費洛蒙可能為誘引或具有忌避作用，雌蟲感受到產卵費洛蒙而避開已被產卵的處所，可以降低子代間對生活環境的競爭壓力。警戒費洛蒙可警告同種昆蟲個體，躲避天敵的攻擊或進行其他防禦措施。路徑費洛蒙協助昆蟲標定食物或巢穴的位置，或導引同伴依照遺留的氣味追尋食物。

釋放凱洛蒙者對本身不利但對感受者有利；釋放阿洛蒙則對自己有利對接受者不利；釋放辛洛蒙對釋出和接受者均有利；兒諾蒙是無生物散發出的氣味，對某一種感受者有利確對另一種不利(Nordlund, 1981)。

化學傳訊物質在害蟲防治上主要有下列三種用途：

一、偵測害蟲

誘引物質的氣味隨風飄散，吸引害蟲逆風而行，趨向誘引源。由捕獲的害蟲可以得知特定範圍內發生的種類、密度、分布及擴散情形、發生時期等。此為傳訊物質最普遍的應用，提供許多作物害蟲綜合防治的施行依據。目前使用的誘蟲物質多以誘雄為主，事實上如能使用誘雌物質更可準確掌握害蟲產卵和卵孵化的時期。

有些地區因用藥不當或施藥頻度過高，田間常產生抗藥性害蟲族群。利用具有專一性的誘引劑如性費洛蒙，可以快速的大量收集特定的害蟲，進行抗藥性族群的偵測，有助於擬定或調整用藥策略，有效管理田間的害蟲族群(鄭, 1989; Cheng *et al*., 1996; Howse *et al*., 1998; Knight *et al*., 2002; Anonymous, 2005)。

此外，對於仍然處於極低密度的新入侵害蟲，使用一般的害蟲調查方法常費工費時，而且不易在最短的時間內發現其存在。利用高效的誘引物質，可以發揮早期偵知的預警功能，常用於外來害蟲的偵測或監測新建立的族群。

二、直接用於防治害蟲

利用誘引物質大量誘殺害蟲，常著眼於減少田間未交尾雄蟲的數量，降低雌蟲的交尾機會，壓制整個族群密度在經濟為害水平以下，避免作物生產遭受經濟損失。理論上，設置愈多的誘蟲器愈能大幅降低害蟲密度。誘引劑對於田間自然存在的誘引物質競爭力強，並且能夠兼除雌、雄蟲，防治效果愈顯著。Knipling (1979)認為大量滅雄的防治法需要達到非常高的誘殺率(> 95%)，才能獲得成功。最好能夠誘殺交尾或產卵前的成蟲，尤其是針對單次交尾的害蟲種類進行防治較易成功。

就農業生態環境而言，防治區內通常仍然會有害蟲由鄰近區域侵入，因此大量誘殺防治需進行區域性共同防治，此在防治雜食性或寄主種類多的害蟲時更為重要。使用有效誘引距離長的誘引劑必須謹慎，因為誘得的害蟲可能來自防治區以外的處所，誘而不殺會釀成更大的危害。

大量誘殺法常適用於低密度族群，比較容易將害蟲壓制在經濟為害水平以下。誘殺的對象大都是活動性高的成蟲期，成蟲如果是直接可對作物造成損害的種類，如果實蠅等除直接降低被害，且可減少下一世代蟲口增長。有些害蟲如蛾類，成蟲並不會為害植株，大量誘殺成蟲並無法立即阻止當代幼蟲為害，將影響防治效果，因此把握誘殺時機很重要。除了誘殺之外，尚有一種策略是將害蟲誘來後並不將其殺死，而是讓害蟲接觸到病毒、真菌或細菌等病原成為病媒，回到田間感染其他害蟲，引發流行病，促使整個族群快速瓦解。

所有使用誘引物質直接以誘雄防治害蟲的方法，均會面臨已交尾雌蟲入侵的問題，因此使用於寡食性且一生只交尾一次的害蟲上，較為有利。

三、阻斷交尾

在田間大量施用費洛蒙，干擾昆蟲正常的求偶行為，使雌蟲無法正常進行交尾，是害蟲管理的一種策略運用。其作用機制目前並不很清楚，因昆蟲種類而異，可歸納為二種：(一)雄蟲感受到人為釋放的費洛蒙，但因環境中充滿費洛蒙而無法確定雌蟲所在的位置。(二)雄蟲處於持續充斥合成費洛蒙的環境中而嗅覺疲乏，或是田間雌蟲釋放的費洛蒙氣味被掩蓋使雄蟲無法管受到，或是感受作用失去平衡，以致根本無法誘發雄蟲的正常行為。

阻斷交尾法常用於防治蛾類害蟲，現在也嚐試用在其他害蟲如介殼蟲、天牛、甘藷蟻象等。阻斷交尾防治法的優點是對環境的衝擊小，目前為止尚未發現有抗性(resistance)的問題，可用於防治對農藥產生抗藥性的族群。缺點是防治費用比藥劑防治高，尤其誘引成分組成複雜或在環境中不穩定時，常減低其應用價值。

果實蠅誘引物質

果實蠅科中有許多為害瓜果類的重要經濟害蟲，此處統稱為果實蠅。果實蠅相關化學傳訊物質的研究與開發一直受到全世界研究人員的重視，其誘引劑可說是目前各種果實蠅偵測、監測和防治策略的基礎(Jang and Light, 1996; 鄭等, 2003)。

一、副費洛蒙(parapheromone)

副費洛蒙一詞專指可以誘引果實蠅的化合物，但這些化合物在演化上與果實蠅生活史間的關係並不清楚(Cunningham, 1989)。如大家所熟知的甲基丁香油誘引東方果實蠅(*B. dorsalis*)、克蠅誘引瓜實蠅(*B. cucurbitae*)、Trimedlure 誘引地中海果實蠅等，只能誘引雄蟲的誘引劑都屬於副費洛蒙。

甲基丁香油對東方果實蠅的誘引力超強，誘引距離可達 1000 公尺。果實蠅也很喜歡取食甲基丁香，因此進入誘蟲器後取食含毒甲基

丁香油而易被毒殺。懸掛或直接拋擲吸附含毒甲基丁香油的纖維板或棉繩，目前廣泛用於族群密度監測或區域性防治(Cheng *et al*., 2005)，並曾成功地用於撲滅日本琉球群島的東方果實蠅。Trimedlure 普遍用於地中海果實蠅發生地區之族群密度監測，提供適當施藥時機，有效防治地中海果實蠅。在台灣，地中海果實蠅被列為重要檢疫害蟲，十餘年來採用 Trimedlure 配合翼型誘蟲器或傑克森誘蟲器用於地中海果實蠅偵測系統中，以防堵其入侵。

目前研究人員仍致力於改進現有果實蠅雄蟲誘引劑或開發更具效力的取代物質，尋找雌蟲誘引劑，改良誘蟲器材，改善誘引劑配方及氣味釋放技術，深入探討副費洛蒙與果實蠅在演化上的關聯性，以及不同生理狀態的果實蠅對這些誘引物質的行為反應，以增進其在田間之應用價值。

二、源自寄主植物的誘引物質

果實蠅在寄主果實上產卵，幼蟲在果實內取食並發育生長，在樹冠下的土壤中化蛹及羽化。寄主植物中應當存在誘引果實蠅的物質，因此無數的研究工作專注於寄主植物的花、葉、果實、種子成分的分離、鑑定、合成和測定其誘引力。自蘋果氣味中分離出來的六種化學成分，組成複方誘餌可誘引雌及雄性蘋果果實蠅。誘劑添加在紅色黏球製成商品，已應用於偵測及防治蘋果果實蠅，為利用植物成分防治果實蠅最成功的例子。其他果實如番石榴、芒果、柑桔、桃、柿、洋香瓜、苦瓜等的揮發性成分亦均有研究在進行中，期望未來能有所突破，開發更為有效的誘引劑。

三、食物誘引劑

果實蠅成蟲需要攝取食物以維持生存及產卵繁殖後代，其一生中可能花費相當部分的時間用於尋找食物，如花蜜、樹液、葉片上的微生物、昆蟲蜜露、鳥糞等。果實蠅需藉由各種食物發出的氣味或其他線索，追蹤食物來源，因此開發食物誘引劑用於偵測和防治果實蠅，亦成為重要的課題。多年來，許多食物成分被分離和鑑定，並經過生物檢定其誘引效力，但至目前為止仍以蛋白質水解物如 NuLure, PIB-7 及近年推出的 GF-120 等商品使用最為普遍。一般而言，蛋白質水解物可以誘引雌或雄蟲，但以雌蟲為主。使用時，蛋白質水解物調在 pH8-9

表一、數種重要害蟲的誘引成分和作用類別

害蟲	誘引成分	發表時間	作用類別
瓜實蠅	Nonane-1,3-diol	2000	阿洛蒙
(*Bactrocera cucurbitae*)	4hydroxyphenyl-2-butanone	1993	誘引劑
	Myrtenol	1989	誘引劑
	Z3-hesen-3-ol		
	Phenylmethanol		
	Deltal-penten-3-ol		
	Z2-5OH		
	E2-6Ald		
	Cis-sabinol		
	2me3me5me6me-pyarzine	1982	費洛蒙
	2me-pyrazine		
	2me3me5me-pyrazine		
	2ethoxybenzoic acid		
	E6-9Ac	1973	凱洛蒙
	cuelure	1972	誘引劑
東方果實蠅	Ethyl acetate	2002	凱洛蒙
(*Bactrocera dorsalis*)	caryophyllene		
	Methyl eugenol	1996	誘引劑
	Ethyl benzoate		
	2allyl-4,5dimethoxyphenol	1988	雄性費洛蒙
	E-coniferyl alcohol		
	Z-3,4dimethoxycinnamyl alcohol		
	2allyl-4,5dimethoxyphenol	1988a	雄性費洛蒙
	E-coniferyl alcohol		
	Z-3,4dimethoxycinnamyl alcohol		
	Methyl eugenol	1968	誘引劑
小菜蛾	Alpha-terpinene	2004	阿洛蒙
(*Plutella xylostella*)	limonene		忌避劑
	linalool		
	Z11-16Ald, Z11-16Ac, Z11-16OH	1982	費洛蒙
	Z11-16Ald, Z11-16Ac	1977	費洛蒙
	Allyl isothiocyanate	1960	凱洛蒙
斜紋夜蛾	Z9E11-14Ac, Z9E12-14Ac	1974	費洛蒙
(*Spodoptera litura*)	Z9E11-14Ac, Z9E12-14Ac	1973	費洛蒙
甜菜夜蛾	Z9E12-14Ac, Z9-14OH	1983	費洛蒙
(*Spodoptera exigua*)	Z9E12-14Ac	1972	費洛蒙
番茄夜蛾	Z11-16Al, Z11-16OH, Z9-16Al,	1990	費洛蒙
(*Helicoverpa armigera*)	Z7-16Al, 16Al		
	Z11-16Al, Z9-16Al	1983	費洛蒙
	Z11-16Al, Z11-14Al	1978	費洛蒙

誘引效果最佳，此時其釋放出來的氨也較多，但整體誘引力並不只是單靠氨氣的作用而已。

果實蠅天然或合成食物誘引劑的行為反應機制相當複雜，各種果實蠅常因不同的生活策略而有差異，個體也會因性別、年齡、營養狀態等因素對同種誘引物質產生不同的反應。在防治應用上，環境中如果不虞食物來源，則誘引劑就比較難以發揮其應有的誘引功效。許多資料顯示果園並非果實蠅喜歡棲息的地方，果實蠅進入果園時可能已經飽食和交尾過，最大的目標只是產卵而已。因此應用食物誘引劑於果實蠅的管理時，對於防治區以外的鄰近環境亦應一併考量。

圖 1. 害蟲偵測誘蟲器：黃色黏板與碳酸銨(左)，翼型誘蟲器與蘋果蠹蛾性費洛蒙(中)，麥氏誘蟲器與甲基丁香油誘殺板(右)。

四、性費洛蒙

許多昆蟲是由雌蟲分泌性費洛蒙誘引雄蟲前來交尾，但是依目前的研究顯示絕大部分果實蠅是由雄性釋放費洛蒙誘發交尾行為。各種果實蠅的性費洛蒙，無論在化合物種類、成分組成、釋放的部位均有很大的變異。就化合物種類而言，從一至五十種以上都有。相關的研究不少，但目前並無應用的實例。直接為害瓜果的果實蠅是雌蟲，雄性費洛蒙可以誘雌，這點在害蟲管理上是一項利基。進一步了解果實

蠅性費洛蒙在生態行為上的角色以及與其他化學傳訊物質間共同作用的情形，對於釋放雄性不孕性果實蠅(SIT)的防治策略亦將有很大助益。

黃色黏板對東方果實蠅的誘引距離應在數公尺內，應懸掛在明亮可視的位置才能發揮最大的誘引作用(陳, 1997)。由於黃色會因紫外線的照射而降解(褪色)，於田間應避免日光直射。可以誘引雌蟲及雄蟲，但對性成熟的果實蠅有較大的誘引力。果園中有可能同時懸掛黃色黏板與甲基丁香油誘殺板，兩者間距在 0.5 公尺時嚴重減弱黃色黏板誘雌的效力。黃色黏板適用於果實蠅族群密度監測，可配合其他防治法使用。

結語

現時的害蟲防治講求的是族群的綜合管理，害蟲的誘引物質扮演監測族群密度的角色，提供藥劑施用或其他防治的行動時機，為經濟、有效及合理的管制體系中不可或缺的一環。藉助先進的化學分析技術與精密儀器，各類化學傳訊物質的分離、鑑定及合成均比以前更精準、快速及經濟，大幅提升其應用的潛力。農藥防治害蟲的負面效應顯現，促使非農藥防治技術的開發深受生產者與消費者的期待。未來，隨者害蟲化學生態研究的進展，化學傳訊物質不但在利用誘引物質大量誘殺直接防治害蟲外，阻斷或改變害蟲的生殖或其他行為，吸引天敵加入作物保護的行列，甚至以凱洛蒙的誘引作用增進植物授粉等利用，發展與應用的空間寬廣，值得我們重視。

參考文獻

鄭允。1989。昆蟲性費洛蒙的田間應用。有機農業研討會專刊 157-181。台中區農業改良場，彰化縣大村，台灣。

陳育仁。1997。黃色黏板對東方果實蠅誘捕效果之評估。國立台灣大學植物病蟲害學研究所 碩士論文 65 頁。

鄭允、高靜華、江明耀、黃毓斌。2003。東方果實蠅防治現代化-區域防治之策略與執行。植物保護管理永續發展研討會專刊 49-66。

Anonymous. 2005. Pherobase. http://www.pherobase.com.com/database/genus-Bactrocera.html.

Cheng, E. Y., C. H. Kao, W. Y. Su, and C. N. Chen. 1996. The application of insect sex pheromone for crop pest management in Taiwan. in Proceedings of "International Symposium on Insect Pest Control with Pheromone" p. 29-47. Suwon, Korea.

Cheng, E. Y., C. H. Kao, M. Y. Chiang and Y. B. Hwang. 2005. Area-wide control of oriental fruit fly and melon fly in Taiwan.in Proceedings of "Symposium on Taiwan-American Agricultural Cooperative Projects" p. 147-154. Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung, Taiwan.

Cunningham, R. T. 1989. Parapheromones. pp. 221-230. *In*: A. S. Robinson and G. Hooper, eds., Vol. 3A, Fruit Flies: their biology, natural enemies and control. Elsevier, Amsterdam.

Cytrynowicz, M., J. S. Morgante, and H. L. De Souza. 1982. Visual responses of South American fruit flies, *Anastrepha fraterculus*, and Mediterranean fruit flies, *Ceratitis capitata*, to colored rectangles and spheres. Environ. Entomol. 11: 1202-1210.

Haniotakis, G., M. Kozyrakis, T. Fitsakis, and A. Andronidaki. 1991. An effective mass trapping method for the control of *Dacus oleae* (Diptera: Tephritidae). J. Econ. Entomol. 84: 564-569.

Hartlieb, E. and P. Anderson. 1999. Olfactory-Released Behaviours. pp. 315-349. *In*: B. S. Hansson, ed. Insect Olfaction. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Howse, P. E., I. D. R. Stevens, O. T. Jones. 1998. Insect Pheromones and their use in pest management. Chapman and Hall, London.

Jang, E. B. and D. M. Light. 1996. Olfactory semiochemicals of tephritids. pp. 73-90. *In*: B. A. McPheron and G. J. Steck, eds. Fruit Fly Pests: a world assessment of their biology and management. St Lucie Press, Delray Beach, Florida.

Knight, A. L., R. P. J. Potting, and D. M. Light. 2002. Modeling the impact of a sex pheromone/kairomone attracticide for management of codling moth (*Cydia pomonella*). Acta Hort. 584: 215-220.

Knipling, E. F. 1979. The basic principles of insect population suppression and management. USDA Agric. Handbook 512.

Nordlund, D. A. 1981. Semiochemicals: a review of the terminology. pp. 13-23. *In*: D. A. Nordlund, R. L. Jones, and W. J. Lewis, eds. Semiochemicals: their role in pest control. John Wiley, New York.

Oseto, C. Y. 2000. Physical control of insects. pp. 25-100. *In*: J. E. Rechcigl and N. A. Rechcigl, eds. Insect Pest Management: techniques for environmental protection. Lewis Publishers, New York.

Prokopy, R. J. and E. O. Owens. 1983. Visual detection of plants by herbivorous insects. Annu. Rew. Entomol. 28: 337-364.

Robacker, D. C., D. S. Moreno, and D. A. Wolfenbarger. 1990. Effects of trap color, height, and placement around trees on capture of Mexican fruit flies (Diptera: Tephritidae). J. Econ. Entomol. 83: 412-419.

Sivinski, J. 1990. Colored spherical traps for capture of Caribbean fruit fly, *Anastrepha suspensa*. Flor. Entomol. 73: 123-128.